

## اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران: رهیافت ترکیبی بازی چانه‌زنی و تحلیل پوششی داده‌ها

بهرام فتحی

استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهریار، شهریار، ایران

Bahram.fathi@mail.ac.ir

رضا زینلزاده

استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان، کرمان، ایران (نویسنده مسئول)

zeynalzadeh@yahoo.com

تاکنون مدل‌های متنوعی برای اندازه‌گیری عملکرد موسسات اقتصادی توسط محققین ارائه شده است، هدف این تحقیق ارائه رویکرد جدیدی برای ارزیابی و اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های توزیع برق کشور است. این رویکرد به صورت ترکیب تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری بازی ارائه شده است تا واحدهای تصمیم‌گیرنده را با مقیاس وسیعی از اقدامات ارزیابی کند. در مطالعات موردی، مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها، اغلب بسیاری از واحدهای تصمیم‌گیرنده را بیش از حد به عنوان واحدهای کارآمد تشخیص می‌دهند، برای رفع این مشکل و کاهش تعداد متغیرها، بازی چانه‌زنی به عنوان یک مدل بازی همکارانه با مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی ترکیب شده است. نتایج کارایی استاندارد حاکی است که از ۳۹ شرکت مورد مطالعه ۲۷ شرکت از کارایی ۱۰۰ درصد برخوردار هستند، برخلاف روش کلاسیک DEA، که تعداد زیادی از شرکت‌ها را می‌باشند، در روش ترکیبی امتیازات بهینه شرکت‌ها از یکدیگر متمایز می‌شوند و رتبه‌های مختلفی را کسب می‌کنند. نتایج تحقیق حاکی است که عملکرد کارایی استاندارد شرکت‌ها با افزایش ستانده به طور متوسط به میزان ۷/۲ درصد و کاهش نهاده‌ها به طور متوسط به میزان ۶/۸ درصد ارتقا یافته است. هم‌چنین نتایج حاصل از ترکیب بازی چانه‌زنی و تحلیل پوششی داده‌ها نشان می‌دهد شرکت‌های توزیع شهرستان تبریز، فارس، استان تهران، خراسان رضوی و کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب پنج رتبه اول را داشته و آذربایجان غربی، گیلان و همدان کم‌ترین رتبه را دارند.

**واژگان کلیدی:** کارایی، بازی چانه‌زنی، تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی متقاطع

## ۱. مقدمه

صنعت برق به خاطر نقش زیربنایی و ارتباط زیادی که با کلیه عوامل موثر بر رشد اقتصادی دارد، صنعتی پویا و تأثیرگذار است. با توجه به فراگیری گسترده انرژی برق، می‌توان آن را به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور محسوب کرد (فلاحی و احمدی، ۱۳۸۴). در صنعت برق شبکه انتقال و توزیع برق از بخش‌های کلیدی و استراتژیک محسوب می‌شود. که به دلیل ارتباط نزدیک با مشتریان از جایگاه و اهمیت خاصی برخوردار است. بخش توزیع برق در حکم حلقه اتصالی میان مصرف‌کنندگان و صنعت برق، وظیفه فروش برق به مشتریان، نگهداری از شبکه‌های توزیع و توسعه آن‌ها، و ایجاد هماهنگی با بخش‌های بالادستی صنعت برق را عهده‌دار است (رضایی، ۱۳۹۲).

ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق همواره به عنوان یکی از مسائل اساسی مورد توجه مدیران این سازمان بوده است. در حقیقت اندازه‌گیری کارایی یک شرکت در مقایسه سایر شرکت‌ها به مدیران جهت تنظیم عوامل مختلف مانند هزینه‌ها، درآمدها و تدوین نظام انگیزش محور کمک می‌کند (فلاح جلودار، ۱۳۹۵). شرکت‌های توزیع برق در سراسر جهان از ساختار انحصاری عمودی یکپارچه به یک بازار محیط رقابتی، در حال تکامل هستند که انتخاب خدمات را به همه مشتریان ارائه می‌دهد. در بازار برق همه شرکت‌ها مسئول تصمیمات خودشان هستند. بنابراین، همه شرکت‌ها در تلاش هستند با شرکت در تجارت برق، سود کسب کنند.

محققان در دهه‌های اخیر روش‌های متعددی را برای محاسبه عملکرد موسسات اقتصادی پیشنهاد کرده‌اند که دارای مفاهیم مشترکی هستند. مدل  $DEA^1$  با توجه به قابلیت‌های متعددی که نسبت به سایر روش‌های ارزیابی عملکرد دارد، در عمل کاربرد وسیعی در صنعت برق یافته است

---

1. Data envelopment analysis

( فلاحی و احمدی، ۱۳۸۴). روش تحلیل پوششی داده‌ها رویکردی مرزی، ناپارامتریک و داده محور برای اندازه‌گیری عملکرد مجموعه‌ای از بنگاه‌های تصمیم‌ساز است که چند نهاد را به چند ستانده تبدیل می‌کند ( کوپر و همکاران، ۲۰۱۱). هدف مقاله حاضر اندازه‌گیری و تحلیل کارایی شرکت‌های توزیع برق با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها با بازی چانه‌زنی است. برای رسیدن به این هدف با در نظر داشتن شرایط بازی چانه‌زنی بین شرکت‌های توزیع برق کارایی‌ها مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر تفاوت سطح کارایی بین بنگاه‌ها ممکن است ناشی از تفاوت شرایط همکاری یا عدم همکاری آنها باشد، فلذا کارایی‌های به دست آمده بایستی به وسیله چانه‌زنی موثر، ارتقا یابند. مطالب مقاله به این شرح سازمان‌دهی شده است. پس از مقدمه حاضر، مبانی نظری و پیشینه تحقیق مرور می‌شود، روش شناسی تحقیق بخش بعدی مقاله را تشکیل می‌دهد، بخش سوم به تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش می‌پردازد. در بخش پایانی جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

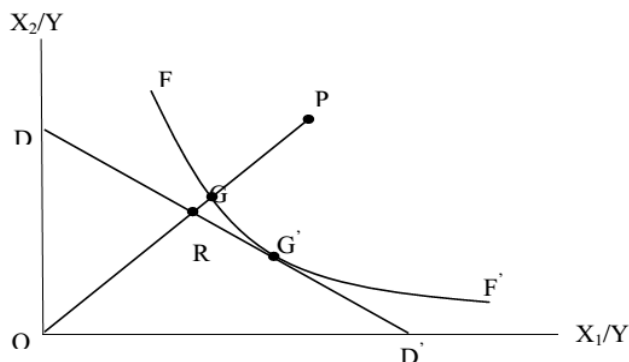
## ۲. مبانی نظری

در نظریات اقتصاد خرد، تابع تولید به عنوان تابع مرزی تعریف شده است، زیرا این تابع حداکثر میزان محصولی را که در واحد زمان از طریق مقادیر مشخصی از نهاده‌ها و سطح معینی از فناوری موجود قابل دسترس است، بیان می‌کند. با توجه به این که در ادبیات اقتصادی، تابع هزینه دوگان تابع تولید است، بنابراین به ازای قیمت‌های مشخصی از نهاده‌ها، تابع هزینه را نیز می‌توان به عنوان تابع مرزی تلقی کرد. عبارت مرز در تابع به این دلیل به کار برده می‌شود که تحقق هزینه‌های پایین‌تر از حداقل نهاده‌های مورد نیاز در فرایند تولید مرزی غیر ممکن است. مقادیری را که در آن هر شرکت زیر مرز تولید و یا بالای مرز هزینه قرار می‌گیرد، به عنوان مقادیر کارایی نسبی آن شرکت در نظر می‌گیرند (کوبین و جوزف<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲).

1. Cubbin & Joseph

فارل<sup>۱</sup> در زمینه کارایی نسبی، فعالیت‌های بسیاری کرده و برای ارزیابی آن نیز روشی را پیشنهاد داده است. وی در سال ۱۹۵۷ در مقاله‌ای تحت عنوان اندازه‌گیری کارایی تولید، کارایی یک بنگاه را تولید یک ستاده به حد کافی بیش‌تر از یک مقدار مفروض نهاده تعریف کرده است. هم‌چنین در منابع دیگر نیز تعاریفی از کارایی ارائه شده که از جمله می‌توان به نسبت ستانده به نهاده اشاره نمود (امامی میبدی، ۱۳۷۹).

فارل کارایی اقتصادی موسسات را شامل دو جزء کارایی فنی و تخصیصی می‌داند. بر اساس تعریف ارائه شده توسط فارل، کارایی فنی منعکس‌کننده توانایی یک بنگاه در به دست آوردن حداکثر خروجی از ورودی‌های به کار گرفته شده است، اما کارایی تخصیصی منعکس‌کننده توانایی یک بنگاه برای استفاده از ورودی‌ها به نسبت بهینه با توجه به قیمت و فناوری تولید است. ترکیب این دو، کارایی اقتصادی را تشکیل می‌دهد. مبانی تحلیل کارایی فارل در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. اندازه‌گیری کارایی در حالت نهاده محور

این نمودار حالتی را ترسیم می‌کند که در آن یک شرکت، دو نهاده  $X_1$  و  $X_2$  را برای تولید محصول  $Y$  به شرط بازده ثابت نسبت به مقیاس استفاده می‌کند.  $FF'$  منحنی تولید همسان یا مجموعه ترکیبات کارایی نهاده‌ها است که سطح محصول  $Y$  را تولید می‌کنند. نقطه  $G$  کارا ترین نقطه تولید،

1. Farrell

هم از نظر حداقل‌سازی مقادیر کل نهاده‌ها برای محصول  $Y$  (کارایی فنی) و هم از لحاظ حداقل‌سازی هزینه استفاده از نهاده‌ها بر حسب قیمت‌های نسبی مشخص آنها (کارایی تخصیصی) است. اگر شرکت مورد نظر در نقطه  $P$  فعالیت کند، مقدار کارایی فنی آن معادل  $\frac{OG}{OP}$  خواهد بود. با توجه به این مقدار این نسبت کم‌تر از یک است، بنابراین شرکت مزبور به لحاظ فنی غیر کارا در نظر گرفته می‌شود. کارایی تخصیص شرکتی که در نقطه  $P$  فعالیت می‌کند از نسبت  $\frac{OR}{OP}$  به دست می‌آید. با توجه به این که مقدار این نسبت کم‌تر از یک است، شرکت مزبور به لحاظ تخصیص نیز غیر کارا است (امامی میبیدی، ۱۳۷۹). روش پیشنهادی فارل برای اندازه‌گیری شرکت‌ها با توجه به فروض محدود کننده‌ای که به همراه داشت، کاربرد عملی چندانی نیافت، تا اینکه با انتشار مقاله چارنز و همکارانش در سال ۱۹۷۸ اندازه‌گیری عملی کارایی با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی ناپارامتریک به حالت چند ورودی و چند خروجی تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌ها امکان‌پذیر شد. در این روش، دیگر نیازی به برآورد تابع تولید نمی‌باشد، هم‌چنین اگر واحد مورد نظر دارای چند ورودی و خروجی متفاوت باشد، این روش در ارزیابی کارایی با مشکل مواجه نخواهد بود (مهرگان، ۱۳۹۲).

### ۳. پیشینه تحقیق

همان‌طور که ذکر شد، ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق یکی از مهم‌ترین موضوعات برای محققان و برنامه‌ریزان به ویژه در سال‌های اخیر بوده است که در ادامه به تعدادی از این تحقیقات اشاره شده است.

#### ۳-۱. مطالعات خارجی

سویشی و گوتو<sup>۱</sup> (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای عملکرد صنعت برق ژاپن را با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از داده‌های نادقیق از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار دادند. مجموعه داده‌ها

1. Sueyoshi & Goto

در دو مقطع ابتدا از ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ سپس در یک مجموعه پیش‌بینی شده از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است. این تحقیق قابلیت تحلیلی جدید را با ارزیابی مبتنی بر DEA در رسیدگی به مجموعه داده‌های نادرست نشان می‌دهد. در این مطالعه میزان انتشار CO<sub>2</sub> به عنوان خروجی نامطلوب در جهت منافع اصلی جهان در نظر گرفته شده است.

ارتیز و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای کارایی شرکت‌های توزیع برق در کشور اسپانیا را در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۶ با استفاده از داده‌های پنلی و روش تحلیل پوششی داده‌ها با بازدهی ثابت به مقیاس اندازه‌گیری نمودند. هدف این مقاله شناسایی مشکلات ناکارآمدی شرکت‌های توزیع برق است که به توزیع‌کنندگان و آژانس‌های عمومی اجازه دهد در محاسبه هزینه‌های خود دقیق‌تر باشند. نتایج نشان می‌دهد که شرکت‌های توزیع برق اسپانیا می‌توانند در صورت بهبود استفاده از ورودی‌ها سطح کارایی خود را بهبود بخشند. این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که اضافه ظرفیت و تعرفه کسری تأثیر منفی بر سطح کارایی دارد.

اسکالزر و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹)، در مقاله‌ای با عنوان مشکلات مالی توزیع‌کنندگان برق از نگاه مقررات برزیل، در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۹ به روش تحلیل پوششی ۶۰ شرکت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کدام شاخص مالی می‌تواند در اهداف تعیین شده توسط نهاد نظارتی مشکل مالی را پیش‌بینی کرده و بطور خاص شناسایی مشکل مالی بر اساس محاسبه عملکرد شرکت را در رابطه با اهداف نظارتی امکان‌پذیر سازد.

زکریا و نورین<sup>۳</sup> (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای با عنوان بررسی و تحلیل شرکت‌های توزیع برق در پاکستان با استفاده از تجزیه و تحلیل تصادفی مرزی، به بررسی اثربخشی هزینه خدمات توزیع برق در پاکستان پرداختند. برای این منظور کارایی هزینه برای ۸ برنامه توزیع با استفاده از داده‌ها برای دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۳ محاسبه می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد که به طور متوسط ۷۲/۵ درصد کارایی

1. Oritz et al.
2. Scalzer et al.
3. Zakaria & Noureen

در بخش توزیع برق وجود دارد. هم‌چنین مشخص شده است که کیفیت خدمات بر کارایی تأثیر می‌گذارد.

آزاده و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای عملکرد واحدهای توزیع برق ایران را با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های تصادفی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۱ مورد بررسی قرار داده‌اند. متغیرهای مورد استفاده شامل طول شبکه، ظرفیت انتقال و کارکنان به عنوان ورودی و خروجی‌ها شامل مشتریان و کل فروش برق در نظر گرفته شده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که طول شبکه با ۰/۴۲ به عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عامل ورودی محسوب می‌شود.

دومانت و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای به بررسی شاخص‌های مالی و عملیاتی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و بوت استرپ برای دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۴ شرکت‌های توزیع برق برزیل پرداخته است. آنها طی سه مرحله، در مرحله اول با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، از فروش برق و مشتریان به عنوان خروجی و هزینه‌های سرمایه و هزینه‌های عملیاتی به عنوان ورودی استفاده می‌نماید، در مرحله دوم، پس از اعمال یک مدل مرزی تصادفی برای اصلاح اثرات متغیرهای محیطی و تصادفی، ورودی‌های کارآمد حاصل می‌شوند. سرانجام، با استفاده از یک محیط عملیاتی مشترک برای هر شرکت امتیازات کارایی تنظیم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که اثرات تصادفی و مبادله بین هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های سرمایه باید در تحلیل کارایی در نظر گرفته شود.

یداو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای مدل ساختار جدید بخش قدرت را بر پایه تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند. آن‌ها عملکرد نسبی بخش‌های توزیع برق ایالت اوتاراکنند در هند را برای دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۵ از طریق تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی نمودند. نتایج مطالعه حاکی از

- 
1. Azadeh et al.
  2. Damonte et al.
  3. Yadav et al.

آن است که واحدهای توزیع برق از ۲۳ شرکت کارا در سال ۲۰۰۵ به ۳۰ شرکت کارا در سال ۲۰۰۸ در روند بازسازی افزایش یافته است.

سلن و یالکان<sup>۱</sup> (۲۰۱۲)، در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق ترکیه از روش‌های ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و تکنیک TOPSIS استفاده کرده‌اند. در این روش، اولاً سطح اهمیت نسبی شاخص‌های مختلف کیفیت تعیین شده سپس از روش TOPSIS برای تولید کیفیت متغیر خدمات استفاده می‌شود و در آخر این متغیر به عنوان یک خروجی در مرحله DEA استفاده می‌شود و عملکرد راندمان تجهیزات توزیع برق تعیین شده است. مهم‌ترین مزیت روش شناسی ترکیبی این است که این امکان را می‌دهد که بجای تکیه بر تنها یک بعد از کیفیت، چندین معیار کیفیت را به طور هم‌زمان در نظر بگیرد.

سجادی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱)، در مقاله‌ای برای تعیین اهداف جایگزین شرکت‌های توزیع برق ایران از مدل تحلیل پوششی داده‌های تعاملی قوی استفاده کرده‌اند. آنها مدل جدیدی را برای تعیین مقادیر هدف ورودی و خروجی شرکت‌های توزیع برق با در نظر داشتن اختلال موجود در داده‌ها پیشنهاد کرده‌اند. در این مطالعه روش تحلیل پوششی داده‌ها را با روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ترکیب کرده‌اند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که مدل تحلیل پوششی داده‌های تعاملی قوی برای تنظیم هدف بر اساس اولویت‌های با داده‌های نامشخص مناسب نمی‌باشد.

خدابخشی<sup>۳</sup> (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای ابرکارایی خروجی محور را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های تصادفی برای شرکت‌های توزیع برق در ایران اندازه‌گیری نموده، وی از طول خطوط شبکه، ظرفیت ترانسفورماتورها و تعداد کارکنان به عنوان ورودی و انرژی تحویلی، اندازه منطقه تحت پوشش به عنوان خروجی استفاده کرده. بر اساس نتایج این تحقیق سمنان به عنوان بهترین شرکت و کرمانشاه به عنوان بدترین شرکت ارزیابی شده‌اند.

1. Celen & Yalcin
2. Sadjadi et al.
3. Khodabakhshi



رئیزی و توارا<sup>۱</sup> (۲۰۰۹)، در مقاله‌ای به بررسی کارایی و تغییرات بهره‌وری در شرکت‌های توزیع برق کشور پرو بعد از اصلاحات در دوره زمانی ۲۰۰۶-۱۹۹۶ پرداختند. آن‌ها از مجموعه داده‌های ۱۴ شرکت توزیع از شاخص تحلیل پوششی داده‌ها و مالم کوئست استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که کارایی و بهره‌وری کل عوامل به‌دست‌آمده در سال‌های اول پس از اجرای اصلاحات در این بخش، افزایش یافته است.

هس و کالمن<sup>۲</sup> (۲۰۰۷)، در مقاله‌ای به تجزیه و تحلیل کارایی شرکت‌های توزیع برق آلمان شرقی و غربی پرداختند. آن‌ها از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های ناپارامتریک و تحلیل مرز تصادفی پارامتریک در یک چارچوب عملکرد فاصله‌ای برای تحلیل شرکت‌های توزیع برق استفاده کردند. این نتایج تا حد زیادی استحکام تفاوت کارایی بین شرکت‌های توزیع آلمان شرقی و غربی را تأیید می‌کند.

امامی میبدی<sup>۳</sup> (۱۹۹۸)، به منظور ارزیابی کارایی صنعت برق ایران، کارایی ۳۰ شرکت توزیع برق کشور در سال ۱۹۹۵ را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کرده است. ستاده‌های به کار رفته در مطالعه مذکور عبارتند از: (۱) حجم الکتریسیته تحویلی به مشترکان خانگی (۲) حجم الکتریسیته تحویلی به مشترکان صنعتی (۳) تعداد مشترکان خانگی (۴) تعداد مشترکان صنعتی و نهاده‌ها شامل: الف) نیروی کار. ب) ظرفیت ترانسفورماتورها. ج) اندازه شبکه. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل کارایی شرکت‌های توزیع برق با استفاده از دو فرض بازدهی ثابت و بازدهی متغیر نسبت به مقیاس، نشان داده است که عدم کارایی فنی و مقیاس سهم یکسانی در عدم کارایی کل صنایع توزیع برق کشور داشته‌اند و اکثر شرکت‌های توزیع در ناحیه بازدهی فزاینده نسبت به مقیاس فعالیت می‌کنند.

- 
1. Reyes & Tovar
  2. Hess & Cullmann
  3. Emami Meibodi

### ۳-۲. مطالعات داخلی

پورعبادالهیان کویچ و همکاران (۱۳۹۶)، مطالعه‌ای با عنوان تصحیح کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران به وسیله عوامل محیطی: کاربرد تحلیل دو مرحله‌ای (Tobit-DEA) در سال ۱۳۹۴ انجام داده‌اند. در این مقاله ابتدا کارایی ۳۹ شرکت توزیع برق با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها اندازه‌گیری و سپس عوامل موثر محیطی بر کارایی با استفاده از روش توبیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاکی است که متغیرهای میزان بارش باران و ترکیب مشتریان به ترتیب اثر منفی و مثبت بر کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران دارند.

علی‌محمدلو و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای به منظور سنجش کارایی نسبی شرکت‌های توزیع برق کشور، ۳۹ شرکت توزیع را در سال ۱۹۹۵ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها با رویکرد خوش‌بینانه و بدبینانه بررسی کرده‌اند. ستاده‌های به کار رفته در مطالعه مذکور عبارتند از: (۱) انرژی تحویلی (۲) تعداد مشترکان و نهاده‌ها شامل: الف) تعداد کارکنان. ب) طول شبکه. ج) ظرفیت ترانسفورماتورها. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که رویکرد حاضر، رتبه‌بندی دقیق‌تری از واحدهای تصمیم‌گیرنده را میسر می‌سازد.

فلاحی و احمدی (۱۳۸۴)، در مقاله‌ای عملکرد نسبی شرکت‌های توزیع برق ایران را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کرده‌اند. کارایی فنی و کارایی مقیاس ۴۲ شرکت توزیع برق در سال ۱۳۸۱ و رشد بهره‌وری مجموع عوامل با استفاده از شاخص بهره‌وری مالک کوئیست برای شرکت‌های مزبور در دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۷۷ محاسبه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که عدم کارایی مقیاس، مهم‌ترین عامل عدم کارایی شرکت‌های توزیع برق در ایران است. اکثر شرکت‌ها در ناحیه بازده نسبت به مقیاس فزاینده فعالیت می‌کنند و تحصیلات کارکنان تأثیر معنی‌داری بر مقادیر کارایی شرکت‌ها ندارد.

جمع‌بندی حاصل از پیشینه تحقیق بیانگر این است که اکثر مطالعاتی که ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق را بررسی کرده‌اند، روش تحلیل پوششی داده‌ها را به کار برده‌اند و برخی

از مطالعات نیز از روش‌های ترکیبی استفاده کرده‌اند، روش مورد استفاده در این تحقیق متفاوت از تصریح مدل سایر مطالعات می‌باشد.

#### ۴. روش‌شناسی تحقیق

##### ۴-۱. مدل DEA برای تخمین کارایی

همان‌گونه که در ادبیات تحقیق نیز اشاره شد، مدل‌های DEA دارای دو رویکرد نهاده محور و ستاده محور می‌باشند. استفاده از رویکرد نهاده محور زمانی مناسب است که تولید به صورت غیرقابل کنترل برای بنگاه‌های مورد بررسی تعیین شود. برای شرکت‌های توزیع برق وضعیت مشابهی وجود دارد چرا که تقاضا برای خدمات توزیع برق این شرکت‌ها به صورت ثابت و خارج از کنترل شرکت‌های مذکور می‌باشند. از همین روی، در این مطالعه از مدل DEA با رویکرد نهاده محور و بازده ثابت نسبت به مقیاس برای رتبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به شرح زیر بهره گرفته شده است.

$$\text{Max } W_0 = \sum_{K=1}^M \mu_r Z_{K0} \quad (1)$$

$$\text{S. t. } \sum_{K=1}^M \mu_r Z_{Kj} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad j \neq 0$$

در رابطه بالا  $W_0$  مقدار کارایی،  $\mu_r$  بردار وزن برای خروجی‌ها،  $Z_{Kj}$  مقدار کمین خروجی برای واحد  $j$ ام می‌باشند.

DEA یک روش برای اندازه‌گیری کارایی نسبی بین واحدهای تصمیم‌گیرنده است. مدل‌های DEA برای  $DMU^1$  کارا امتیاز (۱) را اختصاص می‌دهند و برای  $DMU$ های ناکارا عددی کوچک‌تر از یک را در نظر می‌گیرند. کارایی نسبی مجموعه‌ای از  $DMU$ ها با چند ورودی و چند خروجی را می‌توان محاسبه کرد.

## ۴-۲. مدل بازی چانه‌زنی نش<sup>۱</sup>

هدف بازی چانه‌زنی نش به عنوان یک بازی همکارانه تقسیم منافع بین دو بازیکن بر مبنای رقابت بین آن‌هاست. بازی چانه‌زنی در رده بازی‌های با همکاری محسوب می‌شود. در بازی چانه‌زنی دو بازی‌گر برای دریافت عایدی بیش‌تر به رقابت با یکدیگر می‌پردازند در صورتی که هر دو بازی‌گر بر سر عایدی به توافق برسند، مشکلی وجود نخواهد داشت. رقابت زمانی معنی پیدا خواهد کرد که هر کدام از این بازی‌گرها خواهان دریافت عایدی بیش‌تری باشند. یک بازی چانه‌زنی با رابطه سه‌گانه  $(N, S, b)$  نمایش داده می‌شود.  $N$  نشان دهنده مجموعه استراتژی‌های انجام بازی با بردار درآمد در فضای  $R^N$  است.  $S$  نشان‌گر فضای شدنی برای مسئله است و  $b$  نقاط شکست است که برای عایدی بازی‌گران محاسبه می‌شود. نقاط شکست در واقع حداقل عایدی است که یک بازی‌گر انتظار دارد نصیبش بشود. یا به عبارت دیگر نقاط شکست زمانی اتفاق می‌افتد که یک بازی‌گر بر اساس بهترین استراتژی رقیب بازی کرده باشد. در این تحقیق روشی برای تخمین نقاط شکست برای مدل توسعه داده شده که در قسمت‌های بعدی به جزئیات بیش‌تری از این مسئله پرداخته خواهد شد. نش (۱۹۵۰) چهار ویژگی اساسی را برای جواب هر مسئله چانه‌زنی بیان کرده که به جواب نش معروف می‌باشند این چهار شرط عبارتند از:

۱. کارایی پارتو، در کارایی پارتو بردار غیر ممکن پیامد  $x$  همانند  $X_i > F_i(N, S, \vec{b})$  برای هر  $i$  و  $X_i \geq F_i(N, S, \vec{b})$  برای همه آنها وجود دارد.

۲. تغییر ناپذیری در تبدیلات وابسته، در صورتی که  $L$  تبدیل وابسته از  $R^N$  باشد که به عنوان مثال داشته باشیم، تعدادی عدد هم‌چون  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  و  $\beta_1, \dots, \beta_n$  جایی که  $\beta_1, \dots, \beta_n > 0$  در نظر بگیریم به طوری که  $L(u_1, \dots, u_n) = (\alpha_1 + \beta_1 u_1, \dots, \alpha_n + \beta_n u_n)$  برای هر  $u \in R^N$  وجود داشته آنگاه این رابطه  $F(N, L(S)L(\vec{b})) = L(F(N, S, \vec{b}))$  وجود دارد.

1. Nash

۳. استقلال جواب‌ها نسبت به آلترناتیوهای جایگزین، اگر مشکل چانه‌زنی دیگری هم‌چون  $(N, S, \vec{b})$  وجود داشته باشد به طوری که  $\vec{b}$  زیر مجموعه‌ای از  $S$  و  $(N, S, \vec{b})$  متعلق به  $\vec{b}$  باشد آنگاه این رابطه  $(N, S, \vec{b}) = (N, S, \vec{b})$  برقرار است.

۴) تقارن، اگر  $(S, \vec{b})$  متقارن باشند آنگاه هر دوی  $i, 1$  از این رابطه  $F_i(N, S, \vec{b}) = F_i(N, S, \vec{b})$  برخوردار می‌باشند.

از آنجا که این خصوصیات در ادبیات به خوبی شناخته شده و مورد بحث قرار گرفته است در اینجا برای رفع مشکل چانه‌زنی، نش (۱۹۵۳) نشان داده است که یک راه حل منحصر به فرد وجود دارد که چهار ویژگی فوق را برآورده می‌کند و به عنوان راه حل نش نامیده می‌شود که از طریق حداکثرسازی رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{Max}_{\vec{u} \in S, \vec{u} \geq \vec{b}} \prod_{i=1}^n (u_i - b_i) \quad (2)$$

هم‌چنین برای به دست آوردن جواب نش بازی چانه‌زنی، فضای جواب باید فشرده، محدب و شامل بردارهای پرداخت باشد. بردارهای پرداخت باید طوری باشد که پرداخت‌های بازی برای هر بازی‌گر بزرگ‌تر از مقادیر نقاط شکست متناظرشان باشد.

### - برآورد نقاط شکست بر اساس روش کارایی متقاطع

برای ارزیابی DMUها با استفاده از DEA و بازی چانه‌زنی، لازم است نقاط شکست محاسبه شوند. دیو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) و فتحی و همکاران (۱۳۹۶) رویکردی برای تخمین نقاط شکست در ساختارهای دو مرحله‌ای ارائه داده‌اند. هم‌چنین وو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) برای محاسبه نقاط شکست، از روش‌های ارزیابی نهاده محور و کارایی متقابل استفاده کرده‌اند. در این تحقیق برای محاسبه نقاط شکست فرض می‌کنیم  $n$  واحد تصمیم‌گیرنده  $(j=1, \dots, n)$  داریم که  $DMU_j$

1. Du et al.  
2. Wu et al.

$(j=1, \dots, n)$ ،  $\alpha$  امین خروجی  $Z_{rj}$  ( $r=1, 2, \dots, s$ ) را با استفاده از  $x_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) ورودی می‌توانیم تولید می‌کند. بطوری که وو و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد کرده‌اند با استفاده از مدل زیر می‌توانیم رتبه‌بندی کارایی را برای هر  $DMU_0$  داده شده به دست آوریم.

$$\text{Max } \theta_0 = \sum_{r=1}^s \mu_r Z_{r0} \quad (۳)$$

$$\text{S. t. } \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r Z_{rj} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\mu_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

در رابطه (۳)  $\mu_r$  بردار وزن برای خروجی‌ها،  $Z_{r0}$  مقدار ستاده یا خروجی،  $v_i$  بردار وزن برای ورودی‌ها،  $X_{ij}$  مقدار  $\alpha$  امین ورودی برای واحد  $j$  و  $Z_{rj}$  مقدار  $\alpha$  امین خروجی برای واحد  $j$  می‌باشند. بر اساس روش پیشنهادی دیو و همکاران (۲۰۱۱) برای برآورد نقاط شکست مشابه روش فوق برای محاسبه میزان کارایی متقاطع فرض می‌کنیم کارایی متقاطع یک  $DMU$  به وسیله مجموعه‌ای از وزن‌های بهینه  $v_{1d}^*, \dots, v_{md}^*, u_{1d}^*, \dots, u_{sd}^*$  به دست می‌آید. بنابراین کارایی متقاطع یک  $DMU$  خاص با استفاده از وزن بهینه دیگر  $DMU$ ها به دست می‌آید که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$E_{qj} = \frac{\sum_{r=1}^s \mu_{r0}^* Z_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{i0}^* x_{ij}} \quad q, j = 1, \dots, n \quad (۴)$$

$E_{qj}$  عبارتست از کارایی واحد  $j$  با وزن‌های واحد  $q$ ،  $\mu_{r0}^*$  وزن ستاده  $r$  از نظر واحد  $q$ ،  $v_{i0}^*$

وزن داده  $i$  از نظر واحد  $q$ . میانگین هر  $E_{qj}$  ( $q = 1, \dots, n$ ) به عنوان کارایی متقاطع ( $j =$

$DMU_1, \dots, n$ ) معرفی می‌شود.

$$\bar{E}_j = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n E_{qj} \quad (5)$$

بنابراین  $E_j$  کارایی متقاطع برای  $DMU_j$  می‌باشد. در این پژوهش از روش کارایی متقاطع برای مشخص کردن نقاط جدایی در بازی چانه‌زنی استفاده می‌شود. پیشنهاد می‌شود از معادله ۵ به جای معادله ۴ برای مشخص کردن نقطه شکست استفاده شود.

$$\theta_{cross} = \inf_{q,j} (E_{q,j})$$

$\theta_{cross}$  مقدار نقطه تهدید بین واحدها را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه در روش تحلیل پوششی داده‌ها وزن‌های به‌دست آمده برای هر واحد، مقدار بهینه می‌باشند و به عبارت دیگر بهترین استراتژی برای هر واحد محسوب می‌شود. در واقع ماهیت این روش بر این است که اگر هر واحد بهترین و بهینه‌ترین استراتژی را بازی کند، حداقل عایدی واحد مورد ارزیابی چقدر خواهد بود. این مقادیری که به‌دست می‌آید به واقعیت نزدیک‌تر است و می‌تواند یک برآورد بسیار مناسب برای نقاط شکست به منظور استفاده در مدل مهیا کند. نقطه شکست نمره کارایی برای یک  $DMU$  در شرایط بدبینانه می‌باشد. اگر آن بتواند این مقدار امتیاز را با استفاده از بازی چانه‌زنی به‌دست آورد. این امر نشان می‌دهد که روش پیشنهادی این تحقیق برای به‌دست آوردن نقاط شکست به واقعیت نزدیک‌تر است.

#### ۳-۴. مدل بازی چانه‌زنی - تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۱</sup>

در این بخش طبق مطالعه وو و همکاران (۲۰۰۹) و فتحی و همکاران (۱۳۹۶) یک مدل جدید مبتنی بر بازی چانه‌زنی - تحلیل پوششی داده‌ها برای به دست آوردن نقاط تعادل نش استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی را می‌توان به صورت زیر در نظر داشت:

$$\max e_0 = \left( \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} - \theta_{cross_j} \right) \quad (۷)$$

$$s. t. \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \geq \theta_{cross_j}$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\mu_r, v_i > 0, i = 1, \dots, m, r = 1, \dots, s$$

$e_0$  مقدار ارزش بازی را نشان می‌دهد.

قضیه: نماد  $S$  نشان دهنده تمام محدودیت‌های مدل  $\gamma$  است.

یعنی  $S$  نواحی شدنی  $(\mu_1, \dots, \mu_s, v_1, \dots, v_m)$  و یک مجموعه محدب است.

### اثبات:

برای  $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} > 0$ ، محدودیت  $\frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \geq \theta_{cross_j}$  و  $\frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \leq 1$  به ترتیب معادل

رابطه زیر است.

$$\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0} - \theta_{cross} \times \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \sum_{r=1}^s \mu_r z_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}$$

با فرض این اینکه  $(\mu'_1, \dots, \mu'_s, v'_1, \dots, v'_m)$  و  $(\mu''_1, \dots, \mu''_s, v''_1, \dots, v''_m)$  می‌توانند راه حل

ممکن رابطه (۷) باشند. لذا برای رسیدن به  $\lambda \in [0, 1]$  روابط زیر را خواهیم داشت.

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s [\lambda \mu'_r + (1-\lambda) \mu''_r] z_{r0} - \theta_{cross} \times \sum_{i=1}^m [\lambda v'_i + (1-\lambda) v''_i] x_{ij} & \quad (۸) \\ & = \lambda \left( \sum_{i=1}^s \mu'_r z_{r0} - \theta_{cross} \times \sum_{i=1}^m v'_i x_{ij} \right) \\ & + (1-\lambda) \left( \sum_{r=1}^s \mu''_r z_{r0} - \theta_{cross} \times \sum_{i=1}^m v''_i x_{ij} \right) \leq 0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^s [\lambda \mu_r + (1-\lambda) \mu_r^*] Z_{r0} \\ &= \lambda \sum_{i=1}^s \mu_r Z_{r0} \\ &+ (1-\lambda) \\ &\times \sum_{r=1}^s \mu_r^* Z_{r0} \lambda \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \\ &+ (1-\lambda) \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij} = \sum_{i=1}^m [\lambda v_i + (1-\lambda) v_i^*] x_{ij} \end{aligned}$$

بنابراین S یک مجموعه محدب است.

## ۵. نتایج تجربی

### ۵-۱. داده‌ها

در این قسمت متغیرهای نهاده و ستاده در DEA معرفی می‌شوند، شایان ذکر است که اجماع کاملی در بین شرکت‌های توزیع برق برای بهترین متغیری که بتواند عملکرد این شرکت‌ها را به خوبی نشان دهد، وجود ندارد. در مطالعه حاضر، مشابه مطالعات سیماب و حقیفام<sup>۱</sup> (۲۰۱۲)، تور و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱)، خدابخشی (۲۰۱۰)، جاماسب و پولیت<sup>۳</sup> (۲۰۰۳)، متغیرهای طول شبکه، ظرفیت ترانسفورماتور و تعداد کارکنان به عنوان نهاده در نظر گرفته شده‌اند و مطابق مطالعات نیلسن و پولیت<sup>۴</sup> (۲۰۱۰)، کازمن<sup>۵</sup> (۲۰۱۲)، کولی و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۳)، لی و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۶) و برنجدال و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۶) از متغیرهای تعداد مشترکین و انرژی تحویلی به عنوان متغیرهای ستاده استفاده شده است. در این مطالعه از داده‌های ۳۹ شرکت توزیع برق ایران در سال ۱۳۹۴ استفاده شده است،

1. Simab & Haghifam
2. Tovar et al.
3. Jamasb & Pollitt
4. Nillesen, & Pollitt
5. Kuosmanen et al.
6. Coelli et al.
7. Li et al.
8. BJORNDAL et al.

اطلاعات مربوط به این متغیرها از آمارنامه‌های تفصیلی صنعت برق ایران و صورت سود و زیان شرکت‌های توزیع برق استخراج شده است.

آمار توصیفی متغیرهای ورودی و خروجی مورد استفاده در مدل برای شرکت‌های توزیع برق تحت مطالعه در جدول (۱) گزارش شده است. بر اساس اعداد مندرج در جدول (۱) به عنوان نمونه متوسط میزان طول شبکه ۱۹۰۷۹/۴۷ کیلومتر و حداکثر و حداقل طول شبکه به ترتیب ۳۹۰۸۲ و ۶۸۵۶ کیلومتر بوده، که حداکثر متعلق به استان خراسان رضوی و حداقل متعلق به استان قم است. پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از روش ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و بازی چانه‌زنی با رویکرد ورودی محور و با کدنویسی در نرم‌افزار گمز<sup>۱</sup> عملکرد کارایی برای ۳۹ شرکت توزیع برق در سال ۱۳۹۴ محاسبه گردید.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای ورودی و خروجی شرکت‌های توزیع برق در ایران سال ۱۳۹۴

نوع متغیر	متغیر	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف از معیار
ورودی‌ها	طول شبکه (کیلومتر)	۶۸۵۶	۳۹۰۸۲	۱۹۰۷۹/۴۷	۸۸۳۸/۴۲
	ظرفیت ترانسفورماتور (مگاوات آمپر)	۶۹۹	۱۰۷۵۶	۲۷۱۴/۲۳	۲۰۲۴/۸۱
	تعداد کارکنان (نفر)	۱۱۲	۱۷۴۲	۴۰۹/۲۶	۲۷۶/۹۴
خروجی‌ها	انرژی تحویلی (میلیون کیلووات)	۱۲۰۵	۲۰۵۱۲	۵۳۹۱/۱۳	۳۹۹۸/۹۵
	تعداد مشترکان (هزار مشترک)	۱۹۴	۴۲۶۷	۸۲۳/۳۱	۶۹۱/۰۰۳

مأخذ: محاسبات تحقیق

## ۵-۲. تجزیه و تحلیل نتایج

نتایج حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌ها و روش ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها با بازی چانه‌زنی با استفاده از مدل‌های (۱) و (۷) در جدول ۲ نشان داده شده است. ستون سوم این جدول نتایج کارایی استاندارد با رویکرد نهاده محور و ستون چهارم نتایج کارایی مدل ترکیبی بازی چانه‌زنی

با تحلیل پوششی داده‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس اعداد مندرج در ستون سوم، شرکت‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، شهرستان اصفهان، استان اصفهان، البرز، شهرستان تبریز، تهران بزرگ، استان تهران، شهرستان مشهد، خراسان رضوی، شهرستان اهواز، چهارمحال بختیاری، زنجان، سمنان، شهرستان شیراز، فارس، قم، کرمانشاه، جنوب استان کرمان، گلستان، لرستان، مازندران، مرکزی، هرمزگان، همدان و یزد دارای کارایی یک می‌باشند. به عبارت دیگر تعداد ۲۷ شرکت از ۳۹ شرکت در مرز قرار دارند و این شرکت‌ها به صورت کاملاً کارا عمل می‌کنند. و سایر شرکت‌ها از کارایی کم‌تری برخوردار بوده و عملکرد ضعیف‌تری دارند که نشان می‌دهد این شرکت‌ها بیش‌ترین استفاده غیر بهینه از منابع را دارند. هم‌چنین میانگین کارایی شرکت‌های توزیع برق بر اساس این روش ۰/۹۳۲ می‌باشد که حکایت از کارایی قابل قبول شرکت‌های توزیع برق دارد. علاوه بر این نتایج مدل DEA استاندارد اختلاف قابل توجهی در امتیازات کارایی شرکت‌ها از ۰/۶۰۳ تا ۱ را نشان می‌دهد.

بدیهی است، امتیازات کارایی در مدل DEA استاندارد ورودی محور نزدیک به هم هستند و بیش‌تر DMUها در مرز قرار می‌گیرند. در حقیقت، قدرت تشخیص مدل DEA استاندارد با افزایش ورودی و خروجی بسیار کم است (رضایی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲، دیو، ۲۰۱۱). به عبارت دیگر تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها بر تعداد شرکت‌های کارآمد تأثیر می‌گذارد. این نشان می‌دهد که برخی از شرکت‌هایی که کارا می‌باشند واقعاً کارا نیستند، بنابراین اگر تعداد شرکت‌ها افزایش یابد، امکان دارد چنین شرکت‌هایی به شرکت‌های ناکارآمد تغییر پیدا کنند. بنابراین شواهدی وجود دارد که ما نیاز به مقایسه DMUها در محیط رقابتی داریم. پس از محاسبه کارایی کلاسیک در مرحله بعد برای شروع بازی چانه‌زنی کارایی متقاطع شرکت‌های توزیع برق با استفاده از روابط ۴ تا ۶ برآورد شده است. بر اساس نتایج روش DEA-Game در ستون چهارم جدول شرکت‌های توزیع شهرستان تبریز، فارس، تهران، خراسان رضوی و کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب پنج رتبه

---

1. Rezaee et al.

اول را دارند. شرکت‌هایی هم‌چون کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و ایلام ضمن نداشتن کارایی استاندارد، در مدل DEA- Game از رتبه‌های مناسبی برخوردار شده‌اند و این نشان می‌دهد که این شرکت‌ها در محیط رقابتی عملکرد بهتری داشته‌اند. ستون پنجم رتبه عملکرد شرکت‌ها را براساس روش DEA- Game نشان می‌دهد. در حقیقت، توانایی رویکرد DEA- Game پیشنهادی برای غلبه بر تأثیر برخی از شاخص‌ها بدیهی است. بر اساس نتایج روش ترکیبی ملاحظه می‌شود که در یک شرایط رقابتی تمامی شرکت‌ها با داشتن برخورداری از مزیت رقابتی رتبه‌بندی می‌شوند. امتیازات کارایی در نتایج بازی چانه‌زنی نشان می‌دهد که مدل (۷) می‌تواند صرف‌نظر از تعداد شرکت‌ها موثرتر عمل نماید.

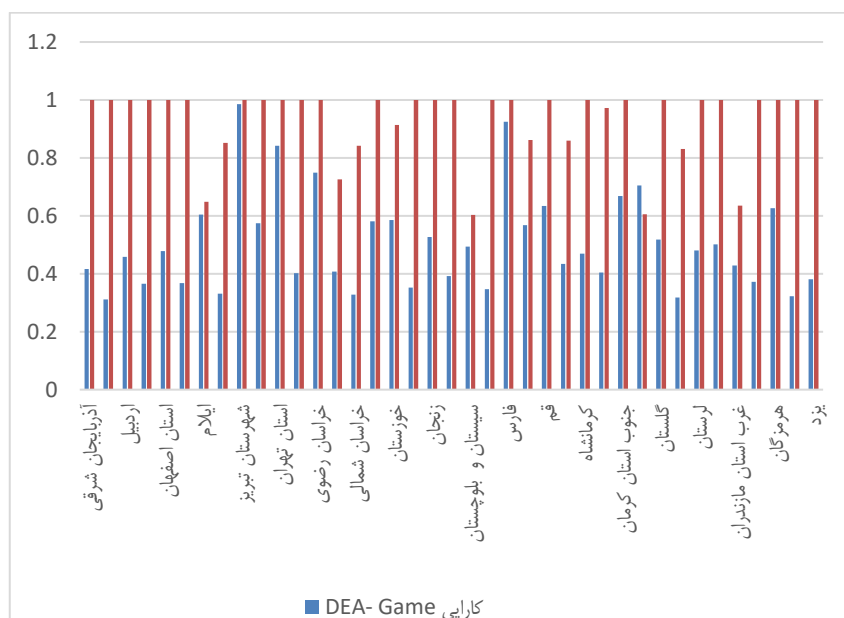
جدول ۲. نتایج کارایی ورودی محور استاندارد و روش ترکیبی بازی چانه‌زنی و تحلیل پوششی داده‌ها

ردیف	شرکت‌های توزیع DMU	نتایج کارایی استاندارد نهاده محور (DEA)	نتایج ترکیبی بازی چانه‌زنی و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA- Game)	رتبه
۱	آذربایجان شرقی	۱	۰/۴۱۶	۲۴
۲	آذربایجان غربی	۱	۰/۳۱۱	۳۹
۳	اردبیل	۱	۰/۴۵۸	۲۱
۴	شهرستان اصفهان	۱	۰/۳۳۶	۳۴
۵	استان اصفهان	۱	۰/۴۷۸	۱۹
۶	البرز	۱	۰/۳۶۸	۳۱
۷	ایلام	۰/۶۴۸	۰/۶۰۴	۹
۸	بوشهر	۰/۸۵۲	۰/۳۳۱	۳۵
۹	شهرستان تبریز	۱	۰/۹۸۶	۱
۱۰	تهران بزرگ	۱	۰/۵۷۴	۱۲
۱۱	استان تهران	۱	۰/۸۴۲	۳
۱۲	شهرستان مشهد	۱	۰/۴۰۲	۲۷
۱۳	خراسان رضوی	۱	۰/۷۴۹	۴
۱۴	خراسان جنوبی	۰/۷۲۶	۰/۴۰۸	۲۵
۱۵	خراسان شمالی	۰/۸۴۲	۰/۳۲۸	۳۶

ردیف	شرکت‌های توزیع DMU	نتایج کارایی استاندارد نهاده محور (DEA)	نتایج ترکیبی بازی چانه‌زنی و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA- Game)	رتبه
۱۶	شهرستان اهواز	۱	۰/۵۸۱	۱۱
۱۷	خوزستان	۰/۹۱۴	۰/۵۸۶	۱۰
۱۸	چهارمحال و بختیاری	۱	۰/۳۵۲	۳۲
۱۹	زنجان	۱	۰/۵۲۷	۱۴
۲۰	سمنان	۱	۰/۳۹۲	۲۸
۲۱	سیستان و بلوچستان	۰/۶۰۳	۰/۴۹۴	۱۷
۲۲	شهرستان شیراز	۱	۰/۳۴۷	۳۳
۲۳	فارس	۱	۰/۹۲۵	۲
۲۴	قزوین	۰/۸۶۲	۰/۵۶۸	۱۳
۲۵	قم	۱	۰/۶۳۴	۷
۲۶	کردستان	۰/۸۵۹	۰/۴۳۴	۲۲
۲۷	کرمانشاه	۱	۰/۴۶۹	۲۰
۲۸	شمال استان کرمان	۰/۹۷۲	۰/۴۰۴	۲۶
۲۹	جنوب استان کرمان	۱	۰/۶۶۸	۶
۳۰	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۶۰۵	۰/۷۰۵	۵
۳۱	گلستان	۱	۰/۵۱۸	۱۵
۳۲	گیلان	۰/۸۳۱	۰/۳۱۸	۳۸
۳۳	لرستان	۱	۰/۴۸۱	۱۸
۳۴	مازندران	۱	۰/۵۰۲	۱۶
۳۵	غرب استان مازندران	۰/۶۳۵	۰/۴۲۸	۲۳
۳۶	مرکزی	۱	۰/۳۷۲	۳۰
۳۷	هرمزگان	۱	۰/۶۲۶	۸
۳۸	همدان	۱	۰/۳۲۲	۳۷
۳۹	یزد	۱	۰/۳۸۱	۲۹

مأخذ: محاسبات تحقیق

در شکل (۲) امتیاز کارایی نهاده محور و مدل ترکیبی بازی چانه‌زنی با تحلیل پوشش داده‌ها بسیار با وضوح بیشتری ملاحظه می‌شود، زیرا مدل استاندارد DEA کارایی اکثر شرکت‌ها را یک محاسبه محاسبه نموده، در حالی که نمرات کارایی شرکت‌های توزیع برق که توسط مدل بازی چانه‌زنی اندازه‌گیری شده‌اند، کم‌تر از یک می‌باشند. نکته دیگر این که نتیجه محاسباتی مدل DEA استاندارد از نظر ریاضی ممکن است قابل قبول باشد، اما از نظر تحلیلی قابل قبول نیست، زیرا بسیاری از شرکت‌های توزیع برق کارآمد می‌باشند. بنابراین مدل پیشنهادی می‌تواند بین شرکت‌ها موثرتر عمل کند.



شکل ۲. مقایسه کارایی استاندارد و روش ترکیبی بازی چانه‌زنی - تحلیل پوششی داده‌ها

## ۶. نتیجه‌گیری

هدف ارزیابی عملکرد شناسایی واحدهایی است که عملکرد ضعیفی دارند تا مدیریت بتواند با برنامه‌ریزی و شناسایی نقاط ضعف، عملکرد آن‌ها را بهبود بخشد. در سال‌های گذشته و از زمان بوجود آمدن مفهوم کارایی، مطالعات بسیاری در این خصوص صورت گرفته است که عمدتاً از

روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است، با توجه به نقص این روش در تمایز بین کارایی واحدهای تصمیم‌گیری، لازم است که در تحلیل‌ها از روش‌های کارآمدتری که توسعه یافته روش تحلیل پوششی داده‌ها هستند، استفاده شود. یکی از جدیدترین روش‌ها در این زمینه مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها با تئوری بازی‌ها است که با وجود استفاده در تحقیقات خارجی، در مطالعات داخلی به دلیل عدم آشنایی محققین از این روش کم‌تر استفاده شده است. در مقاله حاضر برای ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع برق کشور از رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها با بازی چانه‌زنی استفاده شده است. در مدل بازی چانه‌زنی شرکت‌ها در یک شرایط رقابتی با داشتن برخورداری از مزیت رقابتی رتبه‌بندی می‌شوند، به عبارت دیگر با استفاده از روش چانه‌زنی نش می‌توان در خصوص برتری شرکت‌ها قضاوت کرد. از مقایسه نتایج مدل کارایی استاندارد با مدل بازی چانه‌زنی نش این تفاوت حاصل می‌شود که معیار کارآمدی در مدل کلاسیک عدد یک است و بر اساس نتایج مدل کلاسیک، کارایی ۲۷ شرکت از ۳۹ شرکت مورد مطالعه ۱۰۰ درصد محاسبه شده است (عدد یک را کسب کرده‌اند) و عبارتی از بیش‌ترین کارایی برخوردار هستند، در حالیکه ممکن است برخی از این شرکت‌ها کارآمد ضعیف باشند، می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های DEA از توان تفکیک‌پذیری بالایی برخوردار نیستند و نمی‌توانند تمایزی بین کارایی چندین واحد ایجاد نمایند. برای غلبه بر این مشکل در این پژوهش از مدل ترکیبی DEA-Game استفاده شده است، همان‌گونه که نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد در این روش این مشکل برطرف شده و دیگر امتیاز ۱ ملاک نیست، و امتیازات حاصله بین صفر و یک به دست آمده که از بیش‌ترین به کم‌ترین نشان‌دهنده رتبه شرکت‌های توزیع برق است. محاسبات حاکی است که کارایی استاندارد شرکت‌های توزیع برق به‌طور متوسط ۹۳/۲۰ درصد می‌باشد. بر این اساس می‌توان با افزایش ستانده به‌طور متوسط به میزان ۷/۲ درصد و کاهش نهاده‌ها به‌طور متوسط به میزان ۶/۸ درصد عملکرد کارایی را بهبود بخشیده و به کارایی دست یافت. نتایج حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌ها با بازی چانه‌زنی نشان می‌دهد شرکت‌های شهرستان تبریز، فارس، استان تهران، خراسان رضوی و کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب پنج رتبه اول را دارند. در حالی که کهگیلویه و

بویراحمد ضمن نداشتن کارایی استاندارد، در مدل DEA-Game از رتبه پنج برخوردار شده است و این نشان می‌دهد که این شرکت‌ها در محیط رقابتی عملکرد بهتری داشته‌اند. لذا با توجه به مزایای یاد شده، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی، روش ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های تصادفی با رویکرد بازی چانه‌زنی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کشور پیشنهاد می‌شود برای بهبود کارایی شرکت‌های توزیع برق، فرهنگ‌سازی در خصوص مصرف برق و آموزش نیروی انسانی را در اولویت برنامه‌ها قرار دهند.

## منابع

- امامی میبیدی، علی (۱۳۷۹)، اصول اندازه‌گیری کارآیی و بهره‌وری (علمی و کاربردی). تهران: مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.
- پور عبادالهان کویج، محسن؛ فلاحی، فیروز؛ حیدری، کیومرث و پویان کیانی (۱۳۹۶)، "تصحیح کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران به وسیله عوامل محیطی: کاربرد تحلیل دو مرحله‌ای (DEA-Tobit)"، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، شماره ۲۳، صص ۵۹-۸۸
- سایت آمار صنعت برق (۱۳۹۴)، *نشریه آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه توزیع برق در سال ۱۳۹۳*، تهران: شرکت مادر تخصصی توانیر.
- رضایی، علی (۱۳۹۲)، "تحلیل کارایی و بهره‌وری شرکت‌های توزیع برق ایران: رویکرد مدل مازاد مینا (SBM)"، *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، شماره ۱۳، صص ۱۱۹-۱۴۶.
- علی محمدلو، مسلم؛ دامن‌کشان، آرزیتا و زهره مطفف (۱۳۹۵)، "سنجش کارایی نسبی شرکت‌های توزیع برق کشور: تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه"، *نشریه کیفیت و بهره‌وری برق ایران*، دوره ۵، شماره ۲، صص ۱۰۸-۱۱۷.
- فتحی، بهرام؛ خداپرست مشهدی، مهدی؛ همایونی‌فر، مسعود و سید حسین سجادی‌فر (۱۳۹۶)، "ارزیابی عملکرد کارایی زیست محیطی کشورهای منتخب بر اساس تحلیل فراگیر داده‌ها و تئوری بازی‌ها در محیط رقابتی"، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۵۳، صص ۱۰۵-۱۳۳.
- فتحی، بهرام؛ خداپرست مشهدی، مهدی؛ همایونی‌فر، مسعود و سید حسین سجادی‌فر (۱۳۹۶)، "مطالعه مقایسه‌ای کارایی انرژی، زیست محیطی در کشورهای در حال توسعه با رویکرد ستانده



مطلوب و نامطلوب در محیط رقابتی"، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، شماره ۸۱، صص ۸۵-۱۲۱.

فلاحی، محمدعلی و وحیده احمدی (۱۳۸۴)، "ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع برق در ایران"، مجله تحقیقات اقتصادی، دوره ۴۰، شماره ۴، صص ۲۹۷-۳۲۰.

فلاح جلودار، مهدی (۱۳۹۵)، "ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع نیروی برق ایران با استفاده از مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها"، مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، شماره چهارم (پیاپی ۵۱)، صص ۶۷-۸۳.

مهرگان، نادر؛ گراوند، سهراب و ملکشاهی، مجتبی (۱۳۹۲)، "ارزیابی کارایی انرژی برق در صنایع انرژی بر ایران با استفاده از روش DEA"، اولین همایش ملی انرژی‌های نو و پاک، همدان، شرکت هم اندیشان محیط زیست فردا.

**Azadeh A., Haghghi S.M., Zarrin M. & S. Khaefi** (2015). "Performance Evaluation of Iranian Electricity Distribution Units by Using Stochastic data Envelopment Analysis". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, No.73, pp.919-931.

**Bian Y. & S. Li** (2011). "Ranking Decision Making Units with Large set of Highly Correlated Performance Indicators: A Method based on Gram-Schmidt Process". *Expert Systems with Applications*, 38(8), pp. 10518-10523.

**Bjorndal E., Bjorndal M.H., Cullmann A. & M. Nieswand** (2016). *Finding the Right Yardstick: Regulation under Heterogeneous Environments*.

**Çelen A. & N. Yalçın** (2012). "Performance Assessment of Turkish Electricity Distribution Utilities: An Application of Combined FAHP/TOPSIS/DEA Methodology to Incorporate Quality of Service". *Utilities Policy*, No. 23, pp.59-71.

**Charnes A., Cooper W.W. & E. Rhodes** (1978). "Measuring the Efficiency of Decision Making Units". *European journal of operational research*, 2(6), pp. 429-444.

**Coelli T.J., Gautier A., Perelman S. & R. Saplacan-Pop** (2013). "Estimating the Cost of Improving Quality in Electricity Distribution: A Parametric Distance Function Approach". *Energy Policy*, No. 53, pp. 287-297.

**Cooper W.W., Seiford L.M. and K. Tone** (2011), *Handbook on Data Envelopment Analysis*, second edition, New York, Springer.

**Ganley J.A. & J.S. Cubbin** (1992). *Public Sector Efficiency Measurement: Applications of data Envelopment Analysis*. Elsevier Science Inc..

**Damonte F., De Santis M. & S. Berg** (2012). "The Efficiency of Brazilian Electricity Distributors During 2004-2009. An Application using DEA Corrected by Environmental and Stochastic Factors". *Data Envelopment Analysis: Theory and Applications*, No. 297.

- Du J., Liang L., Chen Y., Cook W.D. & J. Zhu** (2011). "A Bargaining Game Model for Measuring Performance of Two-stage Network Structures". *European Journal of Operational Research*, 210(2), pp. 390-397.
- Emami Meibodi A.** (1998). *Efficiency Considerations in the Electricity Supply Industry: The Case of Iran* (Doctoral dissertation, university of Surrey).
- Farrell M.J.** (1957). "The Measurement of Productive efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.
- Hess B. & A. Cullmann** (2007). "Efficiency Analysis of East and West German Electricity Distribution Companies—Do the "Ossis" Really Beat the "Wessis"?". *Utilities Policy*, 15(3), pp. 206-214.
- Jamash T. & M. Pollitt** (2003). "International Benchmarking and Regulation: an Application to European Electricity Distribution Utilities". *Energy policy*, 31(15), pp.1609-1622.
- Khodabakhshi M.** (2010). "An Output Oriented Super-efficiency Measure in Stochastic data Envelopment Analysis: Considering Iranian Electricity Distribution Companies". *Computers & Industrial Engineering*, 58(4), pp. 663-671.
- Kuosmanen T.** (2012). "Stochastic Semi-nonparametric Frontier Estimation of Electricity Distribution Networks: Application of the StoNED method in the Finnish Regulatory Model". *Energy Economics*, 34(6), pp. 2189-2199.
- Li H.Z., Kopsakangas-Savolainen M., Xiao X.Z., Tian Z.Z., Yang X.Y. & J.L.Wang** (2016). "Cost Efficiency of Electric Grid Utilities in China: A Comparison of Estimates from SFA–MLE, SFA–Bayes and StoNED–CNLS". *Energy Economics*, No.55, pp. 272-283.
- Nash Jr, J. F.** (1950). "The Bargaining Problem". *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 155-162.
- Nash Jr, J.F.** (1953). "Two-person Cooperative Games". *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, No. 21, pp. 128–40.
- Nillesen P. & M. Pollitt** (2010). "Using Regulatory Benchmarking Techniques to set Company Performance Targets: the Case of US Electricity". *Competition and Regulation in Network Industries*, 11(1), pp. 50-84.
- Ortiz J.S, Valderrama T.G, V.R. Cornejo** (2019). "The Effects of Environmental Regulation on the Efficiency of Distribution Electricity Companies in Spain". *Energy & Environmental*, No. 31, pp. 3-20.
- Pérez-Reyes R. & B. Tovar** (2009). "Measuring Efficiency and Productivity Change (PTF) in the Peruvian Electricity Distribution Companies after Reforms". *Energy Policy*, 37(6), pp. 2249-2261.
- Rezaee M.J., Moini A. & A. Makui** (2012). "Operational and Non-operational Performance Evaluation of Thermal Power Plants in Iran: A Game Theory Approach". *Energy*, 38(1), pp. 96-103.
- Sadjadi S.J., Omrani H., Makui A. & K. Shahanaghi** (2011). "An Interactive Robust data Envelopment Analysis Model for Determining Alternative Targets in Iranian Electricity Distribution Companies". *Expert Systems with Applications*, 38(8), pp.9830-9839.

**Scalzer R.S., Rodrigues A., Macedo M.Á.D.S. & P. Wanke** (2019). "Financial Distress in Electricity Distributors from the Perspective of Brazilian Regulation". *Energy policy*, No. 125, pp. 250-259.

**Simab M. & M.R. Haghifam** (2012). "Quality Performance based Regulation Through Designing Reward and Penalty Scheme for Electric Distribution Companies". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), pp. 539-545.

**Sueyoshi T. & M. Goto** (2020). "Performance Assessment of Japanese Electric Power Industry: DEA Measurement with Future Impreciseness". *Energies*, 13(2), pp. 490.

**Tovar B., Ramos-Real F.J. & E.F. De Almeida** (2011). "Firm Size and Productivity. Evidence from the Electricity Distribution Industry in Brazil". *Energy Policy*, 39(2), pp. 826-833.

**Wu J., Liang L. & F. Yang** (2009). "Determination of the Weights for the Ultimate Cross Efficiency using Shapley Value in Cooperative Game". *Expert Systems with Applications*, 36(1), pp. 872-876.

**Yadav V.K., Chauhan Y.K., Padhy N.P. & H.O. Gupta** (2013). "A Novel Power Sector Restructuring Model based on Data Envelopment Analysis (DEA)". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 44(1), pp. 629-637.

**Zakaria M. & R. Noureen** (2016). "Benchmarking and Regulation of Power Distribution Companies in Pakistan". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No.58, pp. 1095-1099.